La curva del NASO

marco corvi

2024-03-17

Il codice del NASO [1], FluxyLogger.ino v. 1.04 contiene le seguenti linee per il calcolo dei PPM con il sensore MQ2

FluxyLogger-orig.ino (~/Presentations/Arie/NASO) - VIM (1)

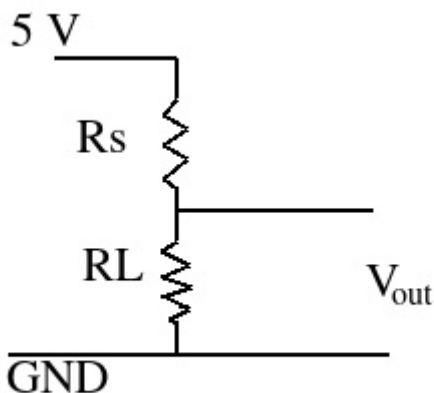
```
#if MQ2SENSOR_PRESENT
// Function to convert raw sensor value to parts per million (PPM) for MQ2 gas sensor
float MQ2_RawToPPM(float rawValue)
{
  // If the zero calibration value is greater than or equal to the raw value, return 0 (no gas)
  if (zeroGasValue >= rawValue)
  {
    return 0;
  }

  // If the zero calibration value is less than or equal to 0, set it to 1 to avoid division by zero
  if (zeroGasValue <= 0)
  {
    zeroGasValue = 1;
  }

  // Sensor characteristics for calibration
  float RAL = 9.83;                       // Ratio of load resistance to sensor resistance in clean air
  float LPGCurve[3] = {2.3, 0.21, -0.47}; // Calibration curve for LPG gas

  // Calculate the resistance of the sensor at zero gas concentration
  float ResZero = MQ2_calc_res(zeroGasValue) / RAL;

  // Calculate the current sensor resistance
  float ResCurrent = MQ2_calc_res(rawValue);

  // Calculate the gas concentration percentage
  float Perc = MQ2_Perc_gas(ResCurrent, ResZero, LPGCurve);

  // Convert the percentage to PPM
  return 1000 * Perc;
}

// Function to calculate the percentage of gas concentration
float MQ2_Perc_gas(float resCurrent, float resZero, float *pCurve)
{
  // Calculate the ratio of current resistance to zero gas resistance
  float rs_ro_ratio = resCurrent / resZero;

  // Calculate and return the gas concentration using the calibration curve
  return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio) - pCurve[1]) / pCurve[2]) + pCurve[0])));
}

// Function to calculate the sensor resistance based on the raw ADC value
float MQ2_calc_res(float rawAdc)
{
  // Calculate and return the sensor resistance
  return (((float)RL_VALUE * (1023.0 - rawAdc) / rawAdc));
}
#endif
                                                                  169,9          9%
```

Quindi il calcolo dei PPM a partire dalla letttura della tensione sul pin di ingresso consiste di tre passi:
- calcolo della resistenza a zero-gas
- calcolo della resistenza quando c'e' gas
- calcolo della "percentuale" di ppm

Alla fine viene restituita la "percentuale" moltiplicata per 1000.

Il valore, Adc, della tensione sul pin di ingresso varia da 0 (0 V) a 1023 (5 V), e la resistenza (interna) del sensore e' calcolata come

$$RL * (1023/Adc - 1)$$

Infatti il sensore e' posto in serie con una resistenza di carico, RL, e la resistenza del sensore viene calcolata misurando la tensione, Vout, ai capi della resistenza di carico.

$$V_{out} = V_c \, RL/(RL+R_s) = V_c / (1 + R_s/RL)$$

dove Vc = 5 V e' la tensione di carico.
Quindi

$$R_s = RL (V_c/V_{out} - 1)$$

che e' la formula implementata nel codice. Il valore della resistenza di carico nel codice e' RL = 5 Kohm. Tuttavia questo valore e' ininfluente perche' nel calcolo della percentuale di gas, MQ2_Perc_gas si usa il rapporto fra la resistenza con gas e

quella senza gas, divisa per la costante RAL=9.83, ovvero

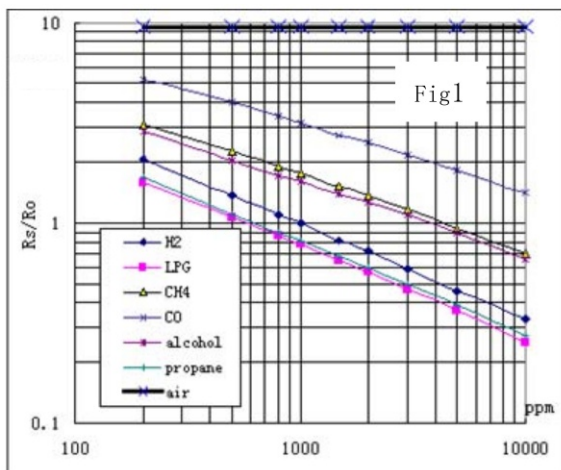
$$r = Rs(gas) / (Rs(zero)/RAL)$$
$$= RAL * (Vc/Vout(gas) - 1) / (Vc/Vout(zero) - 1)$$

RAL viene dichiarato come il rapporto fra la resistenza di carico e quella del sensore in aria. Presumibilmente questo e' ottenuto dal grafico delle risposte Rs/Ro verso ppm riportato nelle specifiche del sensore (v. sotto).

La percentuale di gas e' calcolata come potenza di 10 poiche' il grafico delle risposte e' in scala log-log (con i logaritmi in base 10 indicati sugli assi). Precisamente

$$\log10(ppm) = C[0] + (\log(r) - C[1])/C[2] \qquad (1)$$

dove C[ ] = {2.3, 0.21, -0.47} sono dei coefficienti numerici, probabilmente ricavati dalle curce log-log di risposta.
L'ultimo passo moltiplica la percentuale per 1000 per avere il valore dei ppm. Questo equivale a prendere il valore di C[0]=5.3 anziche' 2.3.

La figura a destra e' tratta dalle specifiche de MQ2 [2] e rappresenta le tipiche curve di risposta del sensore per diversi gas. Sulle ordinate e' il rapporto Rs/Ro, sulle ascisse la concentrazione di gas. Ro e' la resistenza del sensore in 1000 ppm di idrogeno. I test sono fatti in condizioni standard (20°C, 1 atm

65% umidita' [3]) poiche' la risposta del sensore dipende dalla temperatura e dalla umidita'. La resistenza di carico e' 5 Kohm [3,4].

Il grafico e' in scala log-log. I valori sulle ascisse, log10(ppm), vanno da 2 a 4. Quelli sulle ordinate, log10(Rs/Ro) da -1 a 1.

Il valore della resistenza del sensore in aria e' praticamente costante mentre i valori per altri gas hanno una relazione praticamente lineare con i valori di ppm nel diagramma log-log, Pertanto [5]

$$\log_{10}(ppm) = A + B \log_{10}(Rs/Ro) = (\log_{10}(Rs/Ro) - b) / m \qquad (2)$$

I coefficienti A e B possono essere facilmente stimati dal grafico. Per esempio i coefficienti per LPG risultano

$$B = 1 / m = -1/0.47$$

$$A = -b / m = 1.31/0.47 = 2.79$$

Questi valori sono in accordo con quelli utilizzati dal codice: C[2] = 1/B, e C[0] + C[1]/C[2] = 2.74 e' molto vicino ad A.

Da notare che il codice non usa il rapporto Rs(gas)/Rs(zero) ma il prodotto di questo per RAL=9.83 che rappresenta la resistenza in aria. Questo e' equivalente ad un termine addizionale pari a -log(9.83)/0.47 = -4.86

Infatti il codice usa la funzione log anziche' log10 [6]. Questo comporta un fattore moltiplicativo

$$\log(x) = \log(10) * \log_{10}(x) = 2.30 * \log_{10}(x)$$

Se vogliamo calcolare i coefficienti della curva di risposta relativa all'aria dobbiamo considerare

$$Rs(gas)/Rs(aria) = (Rs(gas / Ro) / (Rs(aria) / Ro)$$

e, dato che stiamo stimando una interpolazione della linea in scala log-log

R = log10(Rs(gas)/Ro) - log10(Rs(aria)/Ro)

L'interpolazione lineare di log10(ppm) in funzione di R risulta

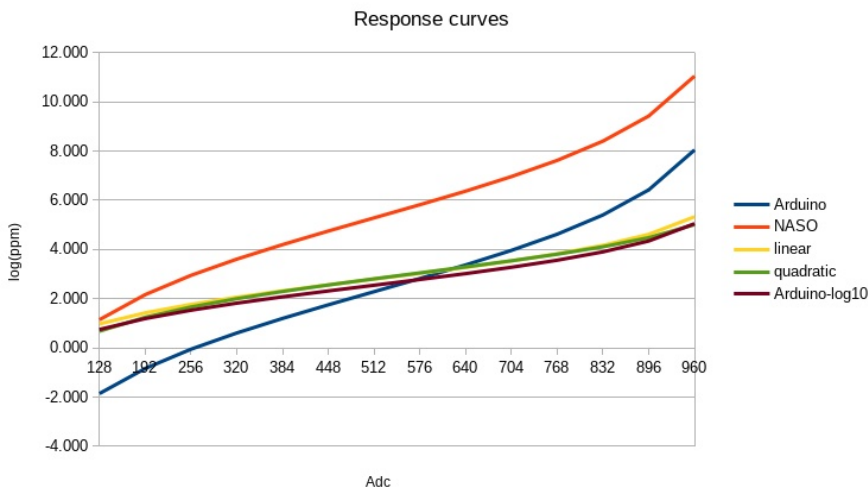
log10(ppm) = 0.640 - 2.154 R (3)

mentre l'interpolazione quatradica e'

log10(ppm) = 0.2376 - 2.886 R - 0.318 R^2 (4)

Ricordo che R e' il log10 di

Rs(gas)/Rs(aria) = (Vc/Vout(gas) - 1) /)Vc/Vout(aria) - 1)

Le curve (1-4) sono riportate nel grafico sotto supponendo un Vout in aria (cioe' zero gas) di 0.56 V (pari ad un valore 115 sul pin di Adc)

Se la curva "Arduino" fosse calcolata con la funzione log10, logaritmo in base 10, anziche la funzione log, logaritmo naturale, la relativa curva verrebbe molto vicina alle curve ottenute con l'interpolazione.

Da quanto esposto risulta che e' possibile correggere i valori dei ppm riportati dal NASO.
Come primo passo si calcola il log10 e si sottrae 3 (che corrisponde al fattore 1000 del codice),

$$\log10(\ ppm\ ) = \log10(\ ppm_naso\ ) - 3$$

Facendo i semplici conti risulta

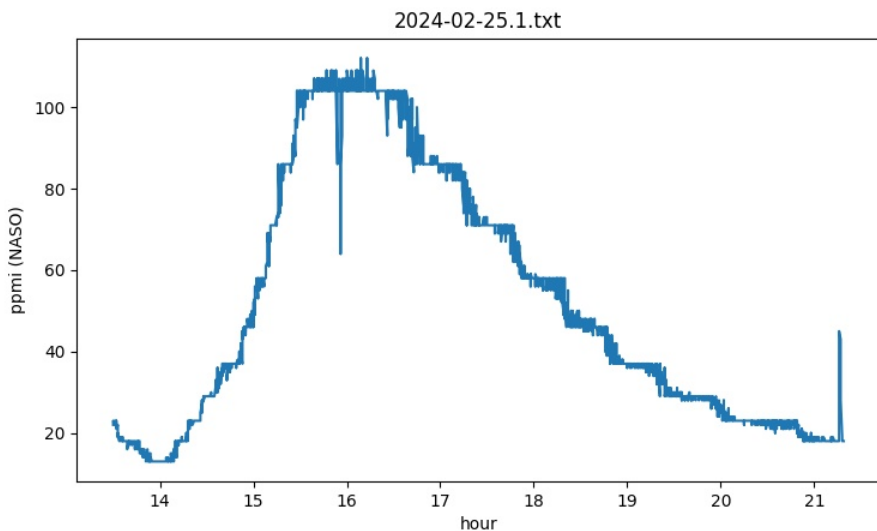
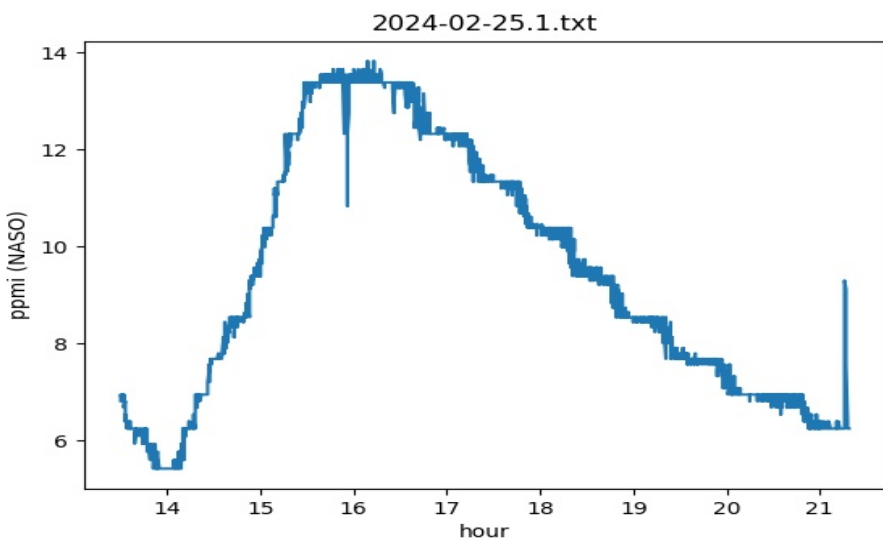
$$\log10(\ ppm\ ) = 0.2511 + 0.434\ \log10(\ ppm_naso\ )$$

ovvero

$$ppm = 1.7828 * (ppm_naso)^{0.434}$$

Le figure alla pagina seguente riportano le curve di restituzione dei ppm riportata dal ASO e quella calcolata con le formule usando i valori di tensione registrati.Quest'ultima coincide con la curva ottenuta correggendo i valori di ppm come riportato sopra.

Addendum

Con la versione 2.25 del 2024-03-15 il codice di FluxyLogger e' stato corretto. I valori dei coefficienti utiliezzati non sono esattamente quelli esposti in questa nota, ma risultano molto vicini ad essi.

Curva di restituzione riportata dal NASO

Curva di restituzione calcolata con le formule

Riferimenti

[1] OpsLogger github
https://github.com/speleoalex/opsdatalogger/blob/main/FluxyLogger/FluxyLogger.ino

[2] https://projecthub.arduino.cc/m_karim02/arduino-and-mq2-gas-sensor-f3ae33

[2] MQ2 spec sheet:
https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf

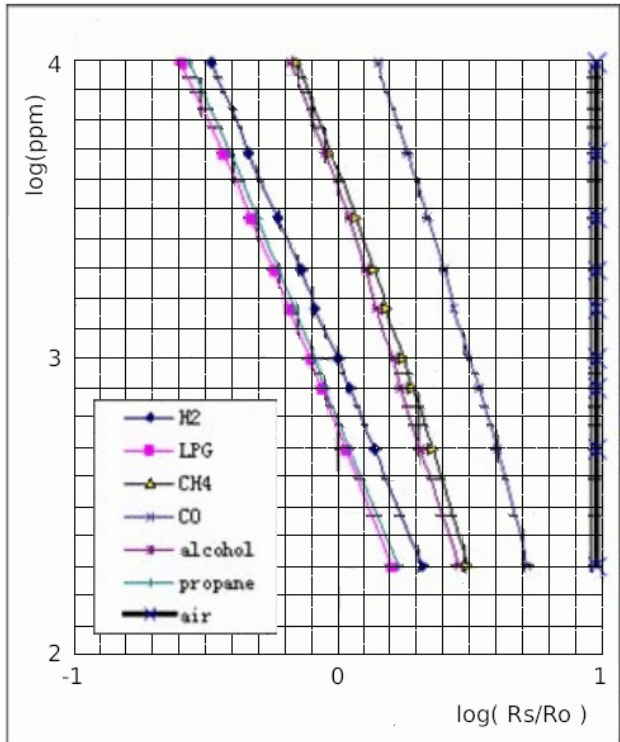
[3] Arduino forum:
https://forum.arduino.cc/t/hooking-up-a-gas-smoke-mq-2-sensor/147316

[4] Dabashis Das, How does MQ-2 flammable gas and smoke sensor work with Arduino? (2022-04-01)
https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mq2-gas-sensor-with-arduino

[5] MQ-2 gas sensor - Educational pdf
https://ioct.tech/edu/sites/default/files/2019-04/MQ-2%20Gas%20Sensor%20--%20Educational.pdf

[6] https://forum.arduino.cc/t/maths-help-log/339211

Interpolazione delle curve

Per fare l'interpolazione poniamo Y=log10(ppm) e X=log10(Rs/Ro). Il grafico delle curve log-log e' riportato nella figura sotto. Si tratta della figura inclusa nelle specifiche del sensore con gli assi scambiati e con la griglia dei valori dei logaritmi in base 10.

La relazione fra Y e X e'

$$Y = A + B X + C X^2$$

dove A, B, e C sono dei coefficienti numerici. Per l'interpolazione lineare C=0. Per stimare i coefficienti si minimizza l'errore quadratico

$$E = \sum (A + B X + C X^2 - Y)^2$$

rispetto ai coefficienti, A, B, e C. La somma e' sulle coppie di valori (X,Y) presi dal grafico. Quindi si cercano le soluzione del sistema

$$\partial E/\partial A = 0$$
$$\partial E/\partial B = 0$$
$$\partial E/\partial C = 0$$

(per l'interpolazione lineare C=0 e il sistema si riduce alle sole prime due equazioni).

Quindi

$$A + \langle X\rangle B + \langle X^2\rangle C = \langle Y\rangle$$
$$\langle X\rangle A + \langle X^2\rangle B + \langle X^3\rangle C = \langle YX\rangle$$
$$\langle X^2\rangle A + \langle X^3\rangle B + \langle X^4\rangle C = \langle YX^2\rangle$$

dove $\langle z\rangle = (1/N) \sum z$.

Il valore per l'aria (rispetto a 1000 ppm di idrogeno) e' log10(Rair/Ro) = 0.978. I valori numerici utilizzati per le coppie (X,Y) sono

log10(Rs/Ro)	log10(Rs/Rair)	log10(ppm)
0.195	-0.784	2.307
0.171	-0.808	2.362
0.123	-0.856	2.473
0.070	-0.909	2.597
0.024	-0.954	2.697
-0.010	-0.988	2.778
-0.036	-1.014	2.838
-0.082	-1.060	2.940
-0.144	-1.123	3.075
-0.212	-1.190	3.220
-0.284	-1.262	3.375
-0.373	-1.351	3.559
-0.418	-1.397	3.648
-0.469	-1.447	3.753
-0.562	-1.541	3.923